

산업단지내 비점오염물질 처리를 위한 적정 저류조 용량 산정 및 처리효율

Optimum Capacity of Retention Basin for Treating Nonpoint Pollutants and Its Removal Efficiency in Industrial Complex Areas

김이형⁺·이병식^{**}·권수열^{***}

Kim, Lee-Hyung⁺·Lee, Byung-sik^{**}·Kwon, Soo-Youl^{***}

:: Abstract ::

The Construction of industrial complex areas means the increase of imperviousness rate and the increase of nonpoint pollutant emissions during a rainfall. Generally the retention basin can become the alternative for removing and controlling these nonpoint pollutants. Recently Ministry of Environment are trying to change the purpose of retention basins from flooding control to nonpoint pollutant control. In order to propel the stormwater management program, administration plan of stormwater management is enacted in Spring, 2005. Hereafter, in a newly developing area, the best management practices should be established to control the nonpoint pollutant. Landuses of the research area are classified to the categories of the 1st manufacturing industry, metal industry, fiber and chemical product manufacturing industry, etc. Therefore, this research was performed to understand washed-off characteristics of stormwater and to suggest the controlling method of nonpoint pollutants.

The optimum capacity of the retention basin can be determined by analyzing the relationships among data of rainfall, runoff, washed-off pollutants from the areas.

The rainfall analysis using the data of normal year, recent 2, 5 and 10 years shows that the 80% rainfall frequency was occurred on 10mm accumulated rainfall, but which is not considered the first flush effect. However, by considering the first flush effect, the appropriate treatment capacity of rainfall can be decreased to 4-5mm accumulated rainfall. Using the criteria, the optimum capacity of retention basin is determined to 12,000m³ in the research area. The washed-off nonpoint pollutant loading from the areas have been calculated to 435ton/yr for TSS, 238ton/yr for COD, 8,518kg/yr for TKN and 1,816kg/yr

+ To whom correspondes should be addressed. leehyung@kongju.ac.kr

* 국립공주대학교·공과대학·건설환경공학부

** 국립공주대학교·공과대학·건설환경공학부

*** 한국방송통신대학교·환경보건학과

for TP. The mass of 78.3ton/yr for TSS, 20.4ton/yr for BOD, 128.6ton/yr for COD, 4.6ton/yr for TKN and 980kg/yr for TP can be reduced by constructing the retention basin. The sediment accumulation rate is also calculated by $6.53\text{kg/m}^2\text{-hr}$.

Keywords: First Flush, Industrial Landuse, Nonpoint Sources, Retention Basin, Stormwater

:: 요 지 ::

산업단지 조성은 포장율의 증가를 의미하며, 다량의 비점오염물질이 강우시 유출되게 된다. 이러한 비점오염물질의 처리 및 저감을 위해서는 저류지 건설 등이 대안이 될 수 있기에 최근 환경부는 홍수 조절용 우수저류조를 비점오염물질 처리용 저류조로의 전환을 꾀하고 있다. 2005년도에 비점오염원 관리 방안이 법제화됨으로써, 향후 신규개발 지역에서는 비점오염물질 관리를 위한 최적관리방안이 필수화 될 것이다. 본 연구지역의 토지이용은 산업단지 조성지역으로 제 1차 제조업 및 금속산업, 섬유 및 화학제품 제조업 등의 업종이 주를 이루고 있다. 산업단지 조성은 인근 수계에 심각한 비점오염물질 부하량을 증가시킨다. 따라서 본 연구는 산업단지에서의 비점오염물질 처리 및 저감을 위하여 저류지 또는 습지 조성을 위하여 추진되었으며, 비점오염물질 관리를 위한 적정 저류지 용량 산정은 강우량 해석, 유출량 해석 및 비점오염물질 유출해석 등을 통하여 적정 용량을 산정할 수 있다. 연구지역의 일 평년, 최근 10년간, 최근 2년간 및 5년간의 강우량 자료를 통계 분석한 결과 초기 강우현상을 고려하지 않을 경우 발생빈도 80% 이상의 강우에 대한 적정 강우량은 10mm로 나타났다. 초기강우현상을 고려하여 산정한 누적강우량 기준은 4-5mm 사이로 산정되었으며, 연구지역에서의 적정 저류지 용량은 안전율을 고려하여 $12,000\text{m}^3$ 으로 결정되었다. 연구지역에서 연간 유출되는 비점오염물질의 양은 TSS가 435ton/yr, COD가 238ton/yr, TKN이 8,518kg/yr 그리고 TP가 1,816kg/yr로 나타났다. 저류지에서의 비점오염물질 저감량은 TSS가 78.3ton/yr, BOD가 20.4ton/yr, COD가 128.6ton/yr, TKN이 4.6ton/yr 그리고 TP가 980kg/yr의 저감량을 보였다. 저류지의 연간 퇴적물량은 78.3ton/yr로 나타났으며, 연간 퇴적율은 $6.53\text{kg/m}^2\text{-hr}$ 로 산정되었다.

핵심용어: 강우 유출수, 비점오염원, 산업단지, 저류조, 초기강우

1. 서론

최근 30년간의 국내 환경 정책은 하폐수, 산업폐수 및 축산폐수 등의 점오염원(point sources) 관리 위주의 처리수의 농도 규제로 진행되었으며, 수 많은 처리 기술 개발과 함께 높은 수준의 처리효율을 이룩하였다. 그러나 점오염원으로부터의 농도 저감은 상수원수인 하천이나 호소의 수질개선으로 이어지지 못하였다. 그 이유는 상수원수 유역의 지역개발 및 산업시설 등의 오염원 증가로 인하여 유출 오염물질이 양적으로 크게 증가되었기 때문이다. 따라서 환경

부는 기존의 농도규제로는 하천의 수질개선을 꾀할 수 없다는 결론에 도달하여 2003년 9월 및 2004년 4월에 선진국의 예를 따라 오염총량관리제를 도입하여 환경정책을 양적 규제로의 환경정책으로 전환하였다(환경부, 2004).

오염총량관리제란 농도규제가 아닌 오염물질 총량규제이며, 이의 달성을 위해서는 농도와 더불어 유출량의 고려가 필수적이다. 2005년 현재 낙동강 유역을 포함한 4대강 유역에서 도·군·경계별 및 시·군·경계별로 지점별 목표수질을 산정하여 시행중이며 대부분의 경우 BOD 기준으로 1-6mg/L의 농도로 목표수질이 설정되어

대책을 강구중이다(환경부, 2004). 오염총량관리제의 특징은 이러한 목표지점에서 목표수질을 달성하지 못할 경우에 유역의 개발에 제한을 두는 엄격하면서도 새로운 차원의 환경 규제 제도라는 것이다. 오염총량제관리제 하에서의 오염총량이란 점오염원 부하량과 비점오염원 부하량과의 합에 안전율을 고려한 값으로 비점오염원의 관리 없이는 본 제도의 성공적 정착을 꾀할 수 없다. 따라서 환경부는 2004년 3월 관계부처합동으로 물관리 종합대책의 추진 강화를 위한 4대강 비점오염원관리 종합대책을 발표하였으며, 2005년 3월 임시국회에서 비점오염원 관리, 즉 강우유출수(stormwater runoff) 관리를 포함하는 수질환경보전법의 대폭 개정법을 통과시켰다.

비점오염원이란 다양한 토지이용에서 발생하는 오염물질이 넓은 면적에 걸쳐 분포하는 오염원을 의미하며, 비점오염물질이란 이러한 다양한 토지이용에서 발생하여 강우에 의해서 유출되는 오염물질을 의미한다. 오염물질의 근원인 다양한 토지이용은 도시, 농경지, 산림, 도로, 건설지역, 농촌, 초지, 하상 퇴적물, 건설지역, 상업지역, 산업지역, 광산 등으로 분류될 수 있다. 상수원수인 하천이나 호소 인근의 유역내 토지이용의 고도화는 비점오염물질 발생량을 급증시키고 있으며, 토지의 불투수층 비율 증가는 비점오염물질의 배출량을 크게 증가시키고 있다. 특히 개발화에 따른 불투수율의 증가는 강우시 강우 유출수의 양을 증가시키며, 침투 유출량의 발생시간을 앞당기고 이에 따라 다량의 비점오염물질을 동반 유출시키고 있다(김 등, 2004a, 2004b, 2004c). 따라서 본 연구는 이러한 토지이용 변화, 즉 산업단지 조성시 발생 가능한 비점오염물질의 종류 및 유출경향을 파악하고자 함이다. 또한 본 연구는 강우 유출 저류조(retention basin)의 건설로 산업단지 내 비점오염물질의 처리 및 저감효율을 산정하고자 함이며, 그 적용에 주안점을 두고자 한다.

2. 연구 대상 지역 및 연구의 필요성

2.1 대상 산업단지의 토지이용 특성

본 연구의 대상지역인 산업단지는 새롭게 건설되는 산업지역이며, 국내 D 도시에 위치하고 있다(대상지역의 명칭은 관계기관의 요청으로 밝힐 수 없음). 본 연구지역인 신규 산업단지 조성지역의 토지이용 계획을 살펴보면, 산업시설용지가 50.3%로 가장 많은 부분을 차지하고 있고, 공공시설용지가 24%로 다음을 차지하고 있다. 특히 공공시설용지 중에서 도로 및 주차장 등 포장지역이 22.0%로 절반이상을 차지하고 있는 것으로 나타났다. 그리고 공원 등 녹지공간이 10.4%로 계획되어 있다. 산업별 세부업종 면적은 제 1차 금속, 조립금속, 기타기계, 컴퓨터 및 사무용기기 제조, 전자부품 등 제조, 의료기기 등 제조, 자동차 제조 및 기타 운송장비 등의 제조업이 차지하는 면적이 72.5%로 대부분을 차지하고 있으며, 섬유 및 화학제조업이 25.3%, 그리고 기타가 2.2%를 차지하고 있는 것으로 나타났다.

2.2 대상지역에서의 비점오염물질 관리의 필요성

2004년도에 환경부에서 발행한 비점오염원 관리 업무편람에 의하면, 신규개발 되는 산업단지의 경우 비점오염물질 처리를 위한 저류조 건설이 의무화 되고 있다. 기존에도 홍수 저감을 위한 강우 유출수 유수지는 존재하였지만 비점오염물질 처리를 위한 시설은 고려되지 아니하였다. 따라서 본 연구는 국내에서 처음으로 도입되어 적용되는 비점오염물질 관리용 저류조 건설의 설계 예를 보여주하고자 한다.

일반적으로 산업단지로의 개발과정 중에는 강우시 토양침식이 다량 발생하며, 유실된 토양이 수계로의 유입시 다량의 비점오염물질을 동반 유출시키고 있다. 또한 개발 완료 후의 산업단지는 공장용 건축물 및 포장도로로 인한 불투수층

이 늘어나고 산업 및 경제 활동이 증가하면서 지표면에 중금속을 포함하는 다양한 종류의 비점오염물질이 쌓이게 되며, 이러한 오염물질은 강우시 수계로 유입되게 된다. 따라서 산업단지 지역은 전형적인 높은 비점오염물질 유출 토지 이용 중의 하나로 산업단지의 조성은 곧바로 높은 비점오염물질 유출 지역으로의 변모를 의미한다.

산업단지 및 도시지역으로의 개발과정에 형성된 불투수층은 강우시 우수가 지면에서 저류 및 침투하는 것을 막아 강우유출수를 증가시키며, 산림지역이 도시로 개발되는 경우 강우유출량은 10배까지 증가하는 반면, 지면에 저류되거나 및 지하로 침투되는 양은 1.5배 감소하는 것으로 보고되고 있으며, 표 1은 그 값을 나타내고 있다(ASCE, 1998).

표 2는 개발로 인한 불투수층의 증가와 비점오염물질 부하량의 변화에 대한 상관성을 보여주고 있다. 일반적으로 불투수층과 비점오염물질 부하량과는 거의 정비례하게 되며, 2배의 불투수층 증가는 1.7-2.0배의 비점오염물질 유출을 일으키는 것으로 나타나 있다(Schueler, 1994).

이러한 결과로 볼 때 D 도시의 산업단지 조성은 완공 후에 다량의 비점오염물질 유출과 함께 도시 인근 수계에 심각한 비점오염물질 부하량을 증가시킬 것으로 판단된다. 따라서 본 연구는 D공단 건설시 환경부 비점오염원 관리방안

중에서 개발화에 대한 대응 필요에 의거하여 비점오염물질 처리 및 저감을 위하여 저류지 또는 습지 조성사업 중심으로 접근하고자 하며 공단 건설에 본 연구 결과를 적용 및 반영을 목표로 하여 추진되었다.

3. 초기강우 저류를 위한 강우유출수 저류지의 적정용량 산정

일반적으로 하천수질 개선을 위하여 새롭게 도입된 오염총량관리제의 성공적 시행을 위해서는 비점오염원 관리가 필수적이다. 여기서 비점오염원 관리란 오염 예방 및 수질 개선을 위하여 다양한 토지이용에서 발생하는 비점오염물질 저감 및 처리를 의미한다. 이러한 비점오염원 관리는 수리수문학적, 인문학적 및 공학적으로 다양한 효과를 제공할 수 있다. 그 중에서도 기대되는 효과로는 강우 유출수의 관리(flow control)를 통한 홍수 예방, 친환경적 비점오염물질 처리를 통한 조경 및 레크리에이션 효과 제공, 유역의 생태계 보존 및 확대 및 강우 유출수의 재이용 등으로 요약 될 수 있다. 이러한 목표를 달성하기 위해 수행된 본 연구의 목적은 D 공단에서 유출 가능한 고농도의 비점오염물질을 함유한 초기강우를 우수저류조로 배제하여 처리하고자 함에 있어서 적정 처리용량 및 우수 저류조의 오염물질 처리효율 산정을 연구하고자 한다.

표 1. 토지이용 변화에 따른 강우유출량 증가 연구사례

구 분	총강우량 mm(%)	지면저류량 mm(%)	지하침투량 mm(%)	강우유출량 mm(%)
산림지역	515(100)	342(66.5)	155(30)	18(3.5)
도시지역	515(100)	235(45)	100(20)	180(35)

(출처): ASCE (1998), Urban Runoff Quality Management.

표 2. 불투수율 증가에 따른 비점오염물질 부하량 변화 (단위: kg/ha/yr)

불투수율	BOD	T-N	T-P	Zn	Pb
10%	6.5	2.6	0.3	0.04	0.02
20%	10.8	4.3	0.6	0.08	0.04

(출처): Schueler, T.R. (1994). Watershed protection techniques: a quarterly bulletin on urban watershed restoration and protection tools, Center for Watershed Protection, Silver Spring.

이러한 산업단지에서 강우시 유출되는 비점오염물질 관리를 위한 적정 저류지 용량 산정은 강우량 해석, 유출량 해석 및 비점오염물질 유출 해석 등을 통하여 적정 용량을 산정할 수 있으며, 초기강우 현상을 파악하여 비점오염물질의 처리용량을 산정할 수 있다.

3.1 비점오염물질 관리를 위한 적정 강우량 기준 산정

비점오염물질은 건조시 지면에 축적되었다가 강우시 집중적으로 유출에 의하여 수계로 유출되게 된다. 따라서 강우량 및 유출 해석은 비점오염물질 유출 해석에서 필수적인 연구 분야다. 이러한 연구를 수행하기 위하여 D 도시의 일평년, 최근 2년간, 5년간 및 10년간의 강우량 자료를 기상청으로부터 확보하여 연구를 수행하였다.

D 도시의 일평년 강우량 결과를 살펴보면, 일

8mm 이상의 강우량은 여름철인 6월에서 9월동안 집중되고 있으며 그 횟수는 많지 않는 것으로 나타났다. 그림 1은 일 평년 강우량의 발생빈도를 나타내고 있는데, 1mm 이하 강우가 27.9%, 1-5mm 범위가 52.9%, 6-10mm 범위가 16.4% 그리고 10mm 이상 강우는 2.8%에 불과한 것으로 나타났다. 따라서 일 평년 강우량을 이용하여 97.2% 발생빈도를 기준으로 할 때 비점오염물질 처리를 위한 기준 강우량은 10mm 이하의 강우량으로 산정할 수 있다.

최근 10년간 강우량을 이용하여 초기 강우를 고려하지 않은 상태에서 비점오염원 처리를 위한 기준 강우량을 분석한 결과 그림 2와 같이 나타났다. 최근 10년간의 월 강우량 값을 비교하면 월 300mm 이상은 6월부터 9월까지 발생하였으며, 최근 10년간 그 횟수는 7회에 불과한 것으로 나타났다. 이러한 결과에 의하면 월 강우

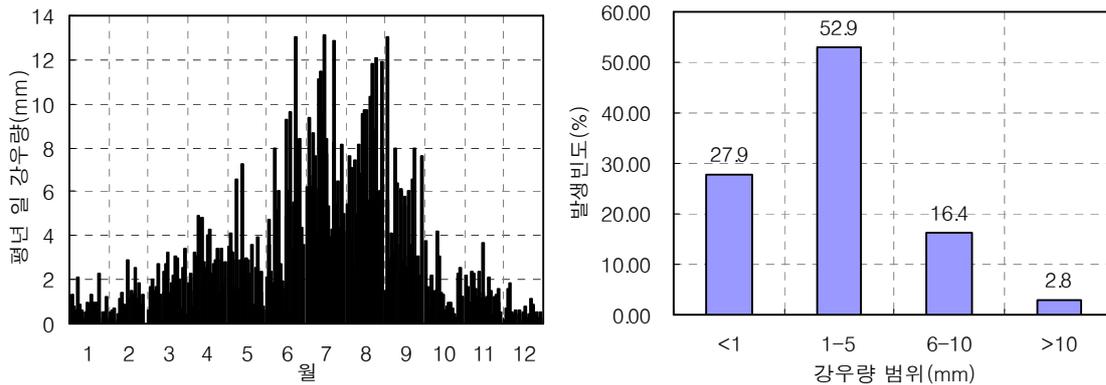


그림 1. D 도시의 일 평년 강우량 및 강우량 범위별 발생빈도

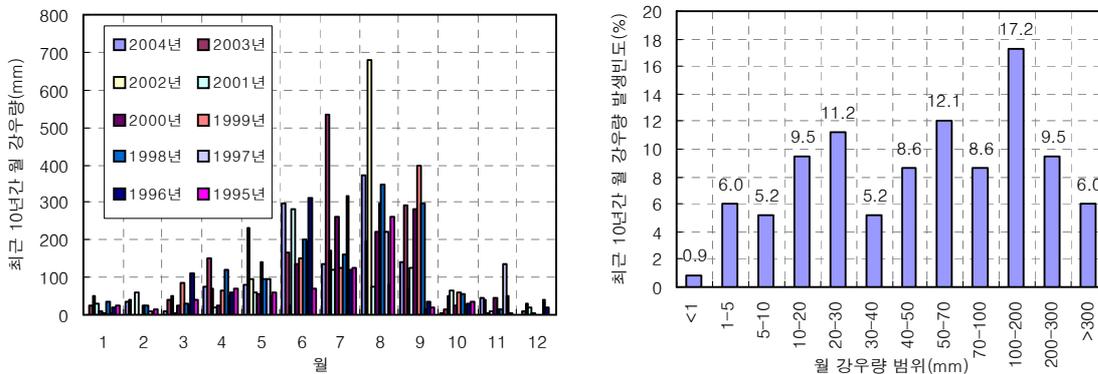


그림 2. D 도시의 최근 10년간 월 강우량 분포 및 발생빈도

량이 0-10mm의 발생빈도는 12.1%, 0-30mm의 발생빈도는 33.8%, 0-100mm의 발생빈도는 67.3% 그리고 0-300mm의 발생빈도는 94%로 나타났다. 따라서 최근 10년간 강우량을 이용하여 94% 발생빈도를 기준으로 할 때 비점오염물질 처리를 위한 기준 강우량은 월 300mm(일 평균 강우량 10mm) 이하의 강우량으로 산정 할 수 있다.

최근 2년간 강우량을 이용하여 초기 강우를 고려하지 않은 상태에서 비점오염원 처리를 위한 기준 강우량을 산정한 결과 그림 3과 같이 나타났다. 10mm 이하의 강우가 대부분을 차지하고 있는 것으로 나타나고 있으며, 그 이상은 발생빈도가 매우 낮은 것으로 해석되었다. 2003년도 강우량별 발생빈도를 보면, 강우량 0-5mm 범위의 발생빈도가 51.3%였으며, 0-10mm 강우량의 발생빈도가 77.6%였다. 2004년도 강우량별 발생빈도를 해석한 결과, 강우량 0-5mm 범위의 발생빈도가 57.7%였으며,

0-10mm 강우량의 발생빈도가 82.1%로 파악되었다. 따라서 최근 2년간 강우량을 이용하여 80% 발생빈도를 기준으로 할 때 비점오염물질 처리를 위한 기준 강우량은 비점오염물질 처리를 위한 기준 강우 사상은 10mm 이하의 강우량으로 산정 할 수 있다.

초기 강우를 고려하지 않고 비점오염물질 처리용량 산정을 위한 강우량의 면밀한 산정을 위하여 최근 5년간 강우량 자료를 마지막으로 분류하였으며, 그 결과가 표 3에 나타나있다. D 도시의 최근 5년간 강우 자료를 검토해 결과 10mm 이하의 소규모 강우가 최근 5년간 주를 이루는 것으로 나타났으며, 5mm 간격의 강우량별 평균 발생빈도는 0-5mm 강우량 발생빈도가 54.3%였으며, 0-10mm 강우량 발생빈도가 73.0%로 나타났다. 따라서 최근 5년간의 강우량을 이용하여 73.0% 이상 발생빈도를 기준으로 할 때 비점오염물질 처리를 위한 기준 강우 사상은 10mm 이하의 강우량으로 산정 할 수 있다.

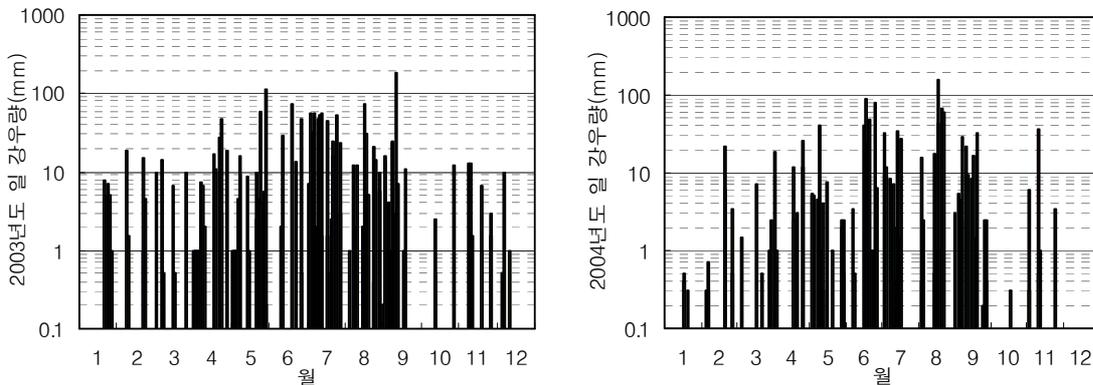


그림 3. 2003년 및 2004년도 월/일별 강우량

표 3. 최근 5년간 5mm 간격의 강우량별 발생빈도

년도	0-5mm	5-10mm	10-15mm	15-20mm	20-25mm	25-30mm	30 이상
2004	57.7	24.4	3.1	3.1	2.1	3.1	6.5
2003	51.3	26.3	7.0	3.4	3.6	1.8	6.6
2002	55.9	11.8	6.5	3.2	3.2	3.2	16.1
2001	49.4	21.0	6.2	7.4	6.2	1.2	8.6
2000	57.4	9.6	10.6	3.2	7.4	2.1	9.6
평균	54.34	18.62	6.68	4.06	4.50	2.28	9.48

비점오염물질 처리용량 기준을 산정하기 위하여 D 도시의 일 평년, 최근 10년간, 최근 2년간 및 5년간의 강우량 자료를 통계 분석해 본 결과 발생빈도에 따른 강우량은 표 4와 같이 나타났다. 초기 강우현상을 고려하지 않고 발생빈도 80% 이상의 강우에 대한 적정 강우량은 10mm로 나타났으며, 초기강우 현상을 고려하여 산정하게 되면 경제적 비점오염물질 처리를 위한 강우량 기준은 줄어들 것으로 판단된다.

3.2 유출 비점오염물질의 초기강우 현상 및 기준

산업단지의 조성은 수문학적으로 불투수층의 증가를 의미하며 환경학적으로 다양한 오염물질의 유출 증가를 의미한다. 미처리된 강우 유출수가 인근 하천으로 유입될 시 수문학적으로는 홍수유발, 하천침식, 수로확장 및 수로바닥의 변화를 야기 시키며, 환경학적으로는 수질악화를 초래하여 수생 동식물에게 피해를 주게 된다(김 등, 2004a, 2004c; Kim et al., 2004a,

2004b, 2005).

그림 4는 포장된 지역에서의 강우 유출수를 채취한 걸보기 농도와 유출되는 오염물질에 대하여 시간에 따른 농도를 나타내고 있다. 강우가 발생할 때 유출되는 강우유출수와 오염물질과의 관계는 강우량, 유출량 및 유출 오염물질 농도를 종합적으로 해석하여 수문곡선과 농도곡선이 동시에 나타내어져야 하기에 비점오염원 해석은 하폐수 등의 점오염원 해석과는 전혀 다른 해석을 보인다. 그림과 같이 강우 발생과 함께 유출되는 비점오염물질의 농도는 시간에 급격히 감소하는 경향을 보이며, 이러한 현상을 초기강우 현상(first flush effect)이라 한다. 따라서 고농도로 유출되는 비점오염물질의 초기강우를 처리할 수 있는 방안의 수립이 필요하다. 산업단지의 경우 비점오염물질 처리 및 저감을 위해 저류지를 건설함이 바람직하며 유입부에 장치형과 같은 추가적인 저감시설이 필요할 경우도 있다.

일반적으로 산업단지과 같이 포장율이 높은 지역에서의 강우 유출수의 오염물질 농도는 일정

표 4. 초기강우를 미 고려한 비점오염물질 처리 강우량 산정

이용 자료	발생 강우량 (mm)	적정 발생빈도 (%)
일 평년 강우량	10	97.2
최근 10년간 강우량	10	94.0
최근 5년간 강우량	10	73.0
최근 2년간 강우량	10	80.0

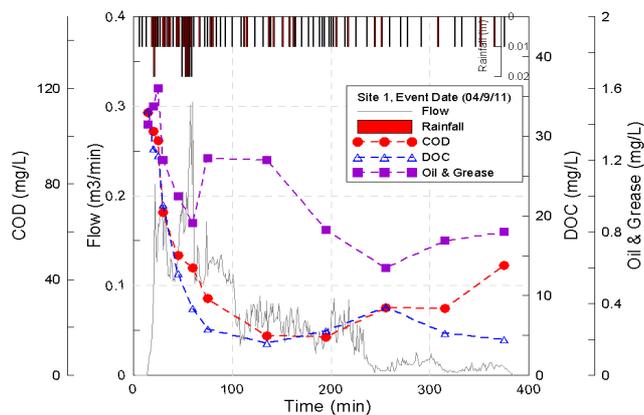


그림 4. 포장된 지역의 강우유출수의 걸보기 농도(좌) 및 농도 변화(우)

시간의 강우가 지속된 후에는 오염물질의 농도가 상당히 낮아지게 되기에 이러한 초기강우는 산업단지를 포함하여 포장된 지역 비점오염원 관리에서 가장 중요한 부분이다. 따라서 강우 유출수 관리에 있어서 비점오염물질 관리를 위한 기준은 초기 강우에 근거를 두고 있으며, 강우 유출수내의 경제적 오염물질 제거를 위해서는 초기강우 기준 제안이 필요하다. 김 등(2004a, 2004b, 2004c)에 의하면, 포장된 지역의 강우 유출수내 TSS와 COD의 경우 초기 30%의 유출을 처리를 통해 오염물질 저감효율이 60-80%의 범위를 보이고 중금속의 경우도 50-65%의 제거효율을 보이는 것으로 보고하고 있다. 또한 그는 이러한 자료를 바탕으로 산업단지 및 포장된 지역에서의 초기 강우 기준을 제시하였는데 강우 초기 20-30%정도의 유출수를 처리함으로써 전체 유출 가능한 오염물질의 50% 이상을 제거할 수 있는 것으로 정의하였다. 따라서 본 연구지역의 초기강우 기준은 강우 유출수의 안전율을 고려하여 40%를 기준으로 제안함이 바람직하며, 이 경우 유출 오염물질 양의 60-85% 이상을 제거 가능할 것으로 판단된다.

3.3 초기강우 기준을 고려한 비점오염물질 적정 처리용량 산정

앞의 3.1절에서 산정한 비점오염물질 관리를 위한 강우량 제안은 초기강우 현상을 반영하지 않은 것으로, 초기강우 기준을 고려할 시에는 4mm 누적 강우량으로 나타난다. 이러한 값은 낙동강수계 완충저류시설설치 종합계획수립상의

우수저류시설 용량 산정시 제안된 5mm에 매우 근접한 값이며, 환경부의 비점오염원 관리 업무편람의 5mm와 매우 유사한 값을 보이고 있다. 따라서 D 도시의 산업단지 조성시 비점오염물질 저감을 위한 저류조 시설용량은 강우량 기준으로 4mm 이상이면 타당할 것으로 판단된다. 이러한 초기강우를 고려하여 본 연구지역에서 우수 저류조로 유입시켜야 할 유량은 다음과 같다: (1) 초기강우를 고려한 강우량(4mm) 기준으로 우수 저류조 용량을 산정한 결과 저류조의 용량은 9,093m³으로 나타났으며, (2) 낙동강수계 완충저류시설 설치 종합계획 수립 및 환경부 기준 누적강우량기준(5mm)으로는 11,360m³의 저류조 용량이 산정되었다. 따라서 D 도시의 산업단지 조성시 필요한 안정적 저류지 용량은 안전율을 고려하여 12,000m³으로 용량으로 산정하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

4. 산업단지내 저류지 건설로 인한 비점오염물질 저감량

우리나라 주요 업종별 비점오염원 유출 EMC(Event Mean Concentration)는 팔당 상수원 비점오염원 최적관리사업 타당성조사 및 기본계획수립(환경부, 2000)의 자료와 김 등(2004a, 2004b)의 자료를 이용하였으며, 표 5와 같이 정리된다. 대상지역의 산업단지는 제 1차 제조업 및 금속산업, 섬유 및 화학제품 제조업 등의 산업이 주를 이루고 있으며, 도로 및 포장지역과 공원 녹지 등이 포함되어 있다.

표 5. 우리나라 주요 업종별 비점오염원 유출 원단위

토지이용	세부항목	TSS (mg/L)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	TKN (mg/L)	TP (mg/L)
산업용지	제 1차 제조업 및 금속산업	350	35.8	200.9	3.5	1.79
	섬유 및 화학제품 제조업	156	12.1	101.4	18.71	0.98
	기타	60	8.6	18.5	1.4	0.67
공공시설	도로 등 포장지역 및 기타	206	12	103	2.4	0.52
	공원 녹지 등	30	1.5	5.3	0.96	0.12

표 6은 D 도시의 산업단지내 토지이용에 따른 연간 비점오염물질 유출 부하량을 나타내고 있다. 토지이용 현황을 살펴보면, 제 1차 제조업 및 금속산업의 구성비가 전체의 36.5% 차지하고, 도로 및 포장지역이 전체의 39.4를 차지하고 있다. 연간 유출되는 비점오염물질의 양은 TSS가 435.1ton/yr, COD가 238.1ton/yr, TKN이 8,518.7kg/yr 그리고 TP가 1,816.0 kg/yr로 산정되었다.

본 연구지역은 처리효율의 향상을 위하여 저류지 입구부에 장치형 시설을 설치하고자 한다. 설치하고자 하는 장치형 시설은 제조사 및 환경부 자료에 근거하면 제거효율은 TSS가 70%, BOD가 5%, COD가 10%, TKN이 10% 그리고 TP가 10%의 효율을 가지고 있다. 이 경우 장치형 시설을 통해 저류지로 유입되는 비점오염

물질 양은 표 7과 같이 산정된다. 장치형 시설을 통과하여 저류조로 유입되는 비점오염물질의 양은 TSS가 97.89ton/yr, BOD가 25.55 ton/yr, COD가 160.71ton/yr, TKN이 5.7ton/yr 그리고 TP가 1.2ton/yr으로 나타나 있다.

표 8은 토지이용별 저류조에서의 연간 비점오염물질 저감량을 나타내고 있다. 비점오염물질 처리를 위한 강우 유출수 저류조는 환경부의 업무편람에는 유입되는 비점오염물질의 60% 이상의 제거를 요구하고 있기에 본 연구에서는 80%의 제거효율을 기준으로 산정하였다. 저류지에서 TSS 저감량은 78.31ton/yr로 나타났으며, BOD의 경우 20.44ton/yr으로 산정되었다. 또한 COD의 경우 128.57ton/yr, TKN의 경우 4.6ton/yr 그리고 TP의 경우 980kg/yr의 저감량을 보였다.

표 6. 토지이용별 연간 비점 오염물질별 유출 부하량

토지 이용	세부항목	구성비 (%)	면적 (m ²)	연간 강우유출량 (m ³)	비점오염물질 유출 부하량				
					TSS (ton/yr)	BOD (ton/yr)	COD (ton/yr)	TKN (kg/yr)	TP (kg/yr)
산업용지	제 1차 제조업 및 금속산업	36.5	828,998.5	635,841	222.5	22.8	127.7	2,225.5	1,138.2
	섬유 및 화학제품 제조업	12.7	289,291.9	221,886	34.6	2.7	22.5	4,151.5	217.5
	기타	1.0	22,732.5	13,412	0.8	0.12	0.25	18.8	9.0
공공시설	도로 등 포장지역 및 기타	39.4	895,661.7	845,504	174.2	10.2	87.1	2,029.2	439.7
	공원 녹지 등	10.4	236,418.3	97,640	2.9	0.15	0.52	93.7	11.7
합계		100.0			435.1	35.9	238.1	8,518.7	1,816.0

표 7. 저류지로 유입되는 비점오염물질의 양

토지이용	세부항목	비점오염물질 유입 부하량				
		TSS (ton/yr)	BOD (ton/yr)	COD (ton/yr)	TKN (kg/yr)	TP (kg/yr)
산업용지	제 1차 제조업 및 금속산업	50.07	16.22	86.22	1,502.18	768.26
	섬유 및 화학제품 제조업	7.79	1.91	15.19	2,802.27	146.78
	기타	0.18	0.08	0.17	12.67	6.07
공공시설	도로 등 포장지역 및 기타	39.19	7.23	58.78	1,369.72	296.77
	공원 녹지 등	0.66	0.10	0.35	63.27	7.91
합계		97.89	25.55	160.71	5,750.10	1,225.78

표 8. 저류지에서의 비점오염물질 저감량

토지이용	세부항목	비점오염물질 유입 부하량				
		TSS (ton/yr)	BOD (ton/yr)	COD (ton/yr)	TKN (kg/yr)	TP (kg/yr)
산업용지	제 1차 제조업 및 금속산업	40.1	13.0	69.0	1,201.7	614.6
	섬유 및 화학제품 제조업	6.2	1.5	12.2	2,241.8	117.4
	기타	0.1	0.07	0.13	10.1	4.9
공공시설	도로 등 포장지역 및 기타	31.4	5.8	47.0	1,095.8	237.4
	공원 녹지 등	0.5	0.08	0.28	50.6	6.3
합계		78.3	20.4	128.6	4,600.1	980.6

이러한 과정을 거쳐 저류지에서 저감된 비점 오염물질은 저류지의 바닥에 퇴적되게 된다. 저류지의 퇴적물은 향후 저류용량의 감소를 초래하기에 저류지의 유지관리를 위해서는 그 양을 산정할 필요가 있다. 산업단지로부터 유입된 초기강우에 의한 퇴적물의 양은 TSS로 산정이 가능하며, 표 8에서와 같이 연간 퇴적량은 78.31 ton/yr로 산정되었다. 비점오염원 저감을 위한 저류지의 용량을 12,000m³으로 고려할 경우 연간 퇴적율은 6.53kg/m²-hr로 산정된다.

5. 결 론

연구의 대상지역인 신규 산업단지는 제 1차 제조업 및 금속산업, 섬유 및 화학제품 제조업 등의 업종이 주를 이루고 있다. 산업단지 조성은 인근 수계에 심각한 비점오염물질 부하량을 증가시킨다. 따라서 본 연구결과는 산업단지에서의 비점오염물질 처리 및 저감을 위하여 저류지 또는 습지 조성사업을 위하여 추진되었으며, 그 결과는 현장에 적용됨을 목표로 하였다.

산업단지에서 강우시 유출되는 비점오염물질 관리를 위한 적정 저류지 용량 산정은 강우량 해석, 유출량 해석 및 비점오염물질 유출해석 등을 통하여 적정 용량을 산정할 수 있으며, 초기 강우 현상을 파악하여 비점오염물질의 처리용량을 산정할 수 있다. 이러한 연구를 통하여 얻어진 결론은 다음과 같이 요약된다.

1. 대상지역의 일 평년, 최근 10년간, 최근 2년간 및 5년간의 강우량 자료를 통계 분석하였다. 초기 강우현상을 고려하지 않고 발생빈도 80% 이상의 강우에 대한 적정 강우량은 10mm로 나타났으며, 초기강우 현상을 고려하여 산정하게 되면 경제적 비점오염물질 처리를 위한 강우량 기준은 줄어들 것으로 나타났다.
2. 본 연구지역의 초기강우 기준은 강우 유출수의 안전율을 고려하여 40%를 기준으로 제안함이 바람직하며, 이 경우 유출 오염물질 양의 60-85% 이상을 제거 가능할 것으로 나타났다.
3. 초기강우를 고려하여 본 연구지역에서 우수 저류조로 유입시켜야 할 유량은 누적 강우량 4-5mm 기준으로 안전율을 고려하여 12,000m³으로 산정되었다.
4. 연구지역에서 연간 유출되는 비점오염물질의 양은 TSS가 435.1ton/yr, COD가 238.1ton/yr, TKN이 8,518.7kg/yr 그리고 TP가 1,816.0kg/yr로 산정되었다.
5. 장치형 시설을 통과하여 저류조로 연간 유입되는 비점오염물질의 양은 TSS가 97.89 ton/yr, BOD가 25.55ton/yr, COD가 160.71ton/yr, TKN이 5.7ton/yr 그리고 TP가 1.2ton/yr으로 나타나 있다.
6. 저류지에서의 비점오염물질 저감량은 TSS가 78.31ton/yr, BOD가 20.44ton/yr,

COD가 128.57ton/yr, TKN이 4.6ton/yr 그리고 TP가 980kg/yr의 저감량을 보였다.

7. 산업단지로부터 저류지로 유입되어 퇴적된 퇴적물의 양은 연간 78.31ton/yr로 나타났으며, 연간 퇴적률은 $6.53\text{kg/m}^2\text{-hr}$ 로 산정되었다.

참고문헌

1. 김이형, 강주현 (2004a). 강우로 인해 고속도로로부터 유출되는 폐기물의 성상, 부하량 및 유출특성, 한국물환경학회지, Vol. 20(5), pp. 415-421.
2. 김이형, 강주현 (2004b). 강우 시 발생하는 고속도로 유출수의 초기우수 특성 및 기준, 한국물환경학회지, Vol. 6, pp 641-646.
3. 김이형, 강주현 (2004c). 고속도로 강우 유출수내 오염물질의 EMC 및 부하량 원 단위 산정, 한국물환경학회지, Vol. 6, pp 631-640.
4. 김이형, 김구범, 강희만, 이주광, 임지현, 고석오 (2004). 국내 고속도로 강우 유출수의 부하농도 및 초기우수 경향, 대한환경공학회 2004 추계학술연구발표회, pp 414-421, 전북대학교
5. 환경부 (2000), 팔당상수원 비점오염원 최적관리사업 타당성 조사 및 기본계획 수립.
6. 환경부 (2004), 비점오염원 관리 업무편람, 환경부
7. ASCE (1998), Urban Runoff Quality Management.
8. Kim, L.-H., Kang, J., Kayhanian, M., Gil, K.-I. and Stenstrom, M. K., Zoh, K.-D. (2004a). Characteristics of litter wastes and observation of first flush in urban runoff. Conference of 8th International Conference on Diffuse Pollution, August, pp. 111-118, Kyoto, Japan.
9. Kim, L.-H., Kayhanian, M. and Stenstrom, M. K. (2004b). Event mean concentration and loading of litter from highways during storms, Science of the Total Environment. Vol. 330, pp 101-113.
10. Kim, L.-H., Kayhanian, M., Lau, S.-L. and Stenstrom, M. K. (2005). A new modeling approach in estimating first flush metal mass loading, Wat. Sci. & Tech. Vol. 51(3-4), pp. 159-167.
11. Schueler, T.R. (1994). Watershed protection techniques: a quarterly bulletin on urban watershed restoration and protection tools, Center for Watershed Protection, Silver Spring.